Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 12, No. 2, December 2021, p. 151-164
Original Research; DOI: 10.22067/ijpr.v12i2.75037

پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره) ۱۲ شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوّم ۱۴۰۰
صفحهٔ ۱۶۴-۱۵۱، نوع مقاله: پژوهشی

اثرات ریزوباکتری‌های تحریک‌کننده رشد و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش‌کمبود آب

سیده سمیرا طباطبایی[۱]، محسن جهان[۲] و کمال حاج‌محمدنیا قالی‌باف[۳*]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ parvazi@live.com
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ jahan@um.ac.ir
۳- استادیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۸، بازنگری: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹؛ انتشار آنلاین مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

نحوه ارجاع به مقاله:
طباطبایی، س.س.، جهان، م.، و حاج‌محمدنیا قالی‌باف، ک. ۱۴۰۰. اثرات ریزوباکتری‌های تحریک‌کننده رشد و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش‌کمبود آب. پژوهش‌های حبوبات ایران ۱۲(۲): ۱۵۱-۱۶۴.

چکیده

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. سطوح آبیاری در سه سطح شامل: ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۷۵ درصد نیاز آبی، و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌عنوان عوامل کرت اصلی و کود بیولوژیک نیتروکسین، کود بیولوژیک بیوفسفر، کود شیمیایی نیتروژنه (اوره) و شاهد به‌عنوان عوامل کرت فرعی منظور شدند. نتایج آزمایش نشان داد که کودهای بیولوژیک مورد بررسی به ویژه نیتروکسین در مقایسه با شاهد و حتی کود اوره، حداکثر مقادیر شاخص‌های رشدی شامل ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص لوبیا را به طور معنی‌داری افزایش دادند. بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ در اثر عامل کود بیولوژیک نیتروکسین و شاهد به‌ترتیب برابر ۲/۰ و ۱/۷ به‌دست آمد ($p \leq 0.01$). بیشترین و کمترین مقادیر سرعت رشد محصول در ۷۷ روز پس از کاشت به‌ترتیب در اثر عامل کود نیتروکسین و شاهد برابر با ۱۱/۰۴ و ۸/۸۱ گرم در مترمربع در روز به‌دست آمد ($p \leq 0.05$). بیشترین مقادیر شاخص‌های رشدی لوبیا نیز با تأمین ۱۰۰درصد نیاز آبی حاصل شد. کودهای نیتروکسین و بیوفسفر افزایش معنی‌داری ($P \leq 0.05$) بر عملکرد دانه لوبیا داشتند و این صفت را به‌ترتیب ۹۲/۳ و ۵۴/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. اثرات اصلی و متقابل کود و آبیاری نیز بر طول مخصوص ریشه معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود، به‌طوری‌که بیشترین طول مخصوص (۳۰/۱۵ متر در ۲۵ سانتی‌مترمکعب خاک) در نتیجهٔ کود نیتروکسین و ۱۰۰درصد نیاز آبی به‌دست آمد. به طور کلی، استفاده از کودهای بیولوژیک جایگزین مناسب‌تر کود شیمیایی نیتروژنه در تولید محصول سالم لوبیا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیوفسفر؛ حبوبات؛ خشکی؛ طول مخصوص ریشه؛ نیتروکسین

مقدمه

حبوبات بعد از غلات دومین منبع غذایی انسان به‌شمار رفته و به عنوان یک مکمل غذایی طبیعی و باارزش برای غلات محسوب می‌شوند. لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی یکساله، دولپه‌ای و گرمادوست از خانوادهٔ بقولات است که امروزه در بسیاری از مناطق گرم و معتدل دنیا از جمله ایران کشت می‌شود (Kumar *et al.*, 2013). ارزش غذایی این محصول به‌علت دارابودن پروتئین (حدود ۲۵ درصد) و کربوهیدرات بالا (حدود ۶۰ درصد)، فیبر فراوان و برخی ویتامین‌ها (نظیر فولیت)، موادمعدنی (نظیر مس، کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز و روی)، آنتی‌اکسیدانت‌ها و پلی‌فنل‌ها است (Kumar *et al.*, 2013; Rosales *et al.*, 2012; Wani *et*

* نویسنده مسئول: hajmohamadnia@um.ac.ir

al., 2013). لوبیا در بین حبوبات از نظر سطح زیرکشت در جهان مقام اول و در ایران پس از نخود (۶۳/۵ درصد) و عدس (۱۶/۷ درصد) با ۱۳/۷ درصد مقام سوم را دارا می‌باشد (Ahmadi *et al*.,, 2017).

در کشاورزی اکولوژیک به‌جای استفاده از نهاده‌های خارجی نظیر کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی، از تناوب‌زراعی با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، بقایای گیاهی، کودهای دامی، کودهای آلی، کودهای زیستی و کنترل زیستی آفات استفاده می‌شود، تا ضمن ذخیره مواد غذایی در خاک، علف‌های‌هرز و آفات کنترل شده و تنوع‌زیستی در مزارع افزایش یابد (Griffe *et al.*, 2003). یکی از امکانات زیستی برای افزایش تولید در کشاورزی، استفاده از ریزجانداران مفید خاکزی است که می توانند به روش‌های مختلف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. از جمله این موجودات می‌توان به ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه[۱] اشاره‌کرد (Vessey, 2003). گونه‌های متعلق به جنس‌های سودوموناس (.*Pseudomonas* sp)، ازوتوباکتر (.*Azotobacter* sp)، آزوسپیریلوم (*Azospirillum* .sp) و باسیلوس (*Bacillus* .sp) از دستهٔ این باکتری‌ها محسوب می‌گردند (Tilak *et al.*, 2005).

در بین عناصر غذایی، نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف و ضروری برای گیاهان به‌شمار می‌رود که کمبود آن تداخل فراوانی را در رشد و نمو گیاهان وارد می‌کند. نیتروژن جزء اولیه تشکیل‌دهنده ترکیبات آلی همانند اسیدهای‌آمینه، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک به‌شمار می‌رود (Heidari & Jahan-Tighi, 2014). در شرایطی‌که امروزه کودهای شیمیایی مشکلات بسیاری نظیر مصرف بیش از حد انرژی، افزایش هزینه ها، آلودگی آب‌های زیرزمینی و تهدید سلامت اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی را به‌همراه داشته‌اند، لوبیا قادر است قسمت عمده‌ای از نیتروژن مورد نیاز خود را از طریق رابطهٔ همزیستی با باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium*) به‌دست‌آورد (Mulas *et al.*, 2011). بنابراین، به‌حداقل‌رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و جایگزین‌نمودن آن‌ها با کودهای زیستی به‌عنوان یکی از اصول مهم کشاورزی پایدار برای نیل به حفظ حیات طبیعی، تنوع زیستی و پایداری منابع آب و خاک اهمیت یافته است.

تنش‌خشکی یکی از نامطلوب‌ترین عوامل رشد و بهره‌وری و تهدیدی جدی برای تولید محصول پایدار و امنیت‌غذایی در شرایط تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود (Anjum *et al.*, 2011). رشد، عملکرد، تمامیت غشاء سلولی، محتوای رنگدانه‌ها، روابط آب، تنظیم اسمزی و فعالیت‌های فتوسنتزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار می‌گیرند. با وجود این، حساسیت گیاهان به تنش خشکی بسته به شدت تنش، گونه‌های گیاهی و مراحل رشد و نمو متفاوت است (Demirevska *et al.*, 2009). تنش خشکی از طریق کاهش محتوای آب خاک منجر به کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش آماس سلولی و در نهایت، بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت رشد و نمو سلول‌ها می‌شود (Anjum *et al.*, 2011). دسترسی ناکافی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش کارآیی مصرف آب را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در این مناطق مطرح کرده است. از سوی دیگر، به‌دلیل بالابودن قیمت آب، خرید آب برای کشاورزان به‌یک معضل بزرگ تبدیل شده است که آن‌هم به نوبهٔ خود تنش رطوبتی ایجاد کرده و خصوصیات کمی و کیفی گیاه را کاهش می‌دهد (Rosales *et al.*, 2012).

برخی تحقیقات نقش مثبت کاربرد کودهای زیستی را بر خصوصیات رشدی گیاهان و نیز تعدیل شرایط تنش خشکی نشان داده است. به عنوان مثال، Tahami Zarandi *et al*, (2016) ضمن بررسی اثر کودهای آلی و بیولوژیک بر خصوصیات کمی و کیفی ریحان (.*Ocimum basilicum* L) گزارش کردند که بیشترین وزن تر کل اندام هوایی و شاخص سطح برگ در تیمار کاربرد نیتروکسین حاصل شد. Fatma *et al*, (2008) گزارش کردند که کودهای بیولوژیک شامل ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، روی شاخص‌های رشدی و میزان اسانس گیاه مرزنجوش (*Majorana hortensis*) اثرات قابل‌توجهی داشت. در پژوهش دیگری مصرف کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و باکتری‌های حل‌کننده فسفات خاک، علاوه بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد نخود (.*Cicer arietinum* L) رقم پیروز، موجب تعدیل تنش کم‌آبیاری و کاهش اثر منفی آن شد (Rabieyan *et al*.,, 2009).

این پژوهش با هدف مقایسه اثرات ریزوباکتری‌های تحریک‌کننده رشد با کود شیمیایی نیتروژن بر شاخص‌های رشدی گیاه لوبیا در شرایط تنش کمبود آب انجام شد.

۱- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب‌شرقی مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقۀ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقۀ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شامل: آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۷۵ درصد نیاز آبی، و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌عنوان عامل اصلی و کودهای بیولوژیک نیتروکسین (حاوی باکتری‌های .*Azotobacter* sp و .*Azospirillum* sp)، بیوفسفر (حاوی باکتری‌های حل‌کنندۀ فسفات .*Bacillus* sp و.*Pseudomonas* sp)، کود شیمیایی نیتروژنه (به شکل اوره)، و شاهد (بدون مصرف کود) به‌عنوان عامل فرعی بودند. قبل‌از انجام آزمایش، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک محل آزمایش نمونه‌گیری و به‌همراه نمونه کود دامی (کود گاوی) میزان عناصر و خصوصیات فیزیکی- شیمیایی آن‌ها تعیین گردید (جدول ۱).

عملیات آماده‌سازی زمین در اواخر فروردین سال ۱۳۹۵ انجام شد؛ به این صورت که ابتدا زمین مورد نظر دو بار دیسک عمود برهم زده شد و سپس توسط لولر تسطیح گردید. در ادامه، به کمک فاروئر جوی و پشته‌هایی با فاصله بین ردیف ۵۰سانتی‌متر ایجاد شد. ابعاد هر کرت ۲/۵×۵ متر و داخل هر کرت پنج ردیف کاشت در نظر گرفته شد. فاصله بین بلوک‌ها یک متر و بین هر دو کرت متوالی، ۰/۵ متر جهت جلوگیری از تداخل عامل‌های آزمایشی در نظر گرفته شد. سپس محل عامل‌های آزمایشی به‌صورت تصادفی مشخص شد.

یک هفته قبل از کاشت، کود دامی به مقدار ۲۰ تن در هکتار به طور یکسان به همه کرت‌ها اضافه و با خاک مخلوط شد.

به‌منظور کاربرد کودهای بیولوژیک نیتروکسین و بیوفسفر (10^7 cfu/ml)، از روش بذرمال استفاده گردید و بر اساس توصیه شرکت سازنده، بذرهای تلقیح‌شده پس از خشک‌شدن در سایه، بلافاصله مورد کشت قرار گرفتند (Jahan & Nassiri Mahallati, 2012). کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان استارتر قبل از کشت به کرت‌های مربوطه اضافه شد. در تاریخ ۴ اردیبهشت ۱۳۹۵، کشت بذور لوبیا رقم درخشان با دست با فاصله ۱۰سانتی‌متر از یکدیگر و به عمق سه سانتی‌متر انجام شد.

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا مرحله پنجبرگی هر هفت‌روز یک‌بار به روش نشتی انجام گرفت و بعد از این مرحله متناسب با سطح تیمار آبیاری، آبیاری توسط کنتور اعمال و ثبت می‌شد. با توجه به نیاز آبی لوبیا رقم درخشان در طول فصل رشد (۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار) با منظورنمودن مدار آبیاری متوسط هفت‌روزه و تعداد ۱۷ نوبت آبیاری، حجم آبیاری برای تیمار ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب معادل ۳۰۰، ۲۲۵ و ۱۵۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد (Jahan *et al.*,, 2012). برای حصول تراکم مناسب (۲۰ بوته در مترمربع) در مرحله دو تا چهار برگی، عملیات تنک انجام گرفت. به‌منظور کنترل علف‌های هرز (تاج خروس وحشی (*Amaranthus retroflexus*)، سلمه تره (*Chenopodium album*) و سوروف (*Echinocloa crus-ghalii*))، شِش نوبت وجین دستی به‌ترتیب ۲۲، ۲۸، ۴۶، ۵۵، ۸۹ و ۹۵ روز پس‌از کشت انجام شد. گیاه لوبیا در طول دوره رشد خود با هیچ‌گونه آفت یا بیماری مواجه نگردید و هنگام آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد نیز از هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی نمونه خاک مزرعه و کود گاوی مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physico-chemical properties of the soil and cow manure samples used in experiment

	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	درصد کربن آلی O.C (%)	میلی‌گرم به کیلوگرم پتاسیم K ($mg.Kg^{-1}$)	میلی‌گرم به کیلوگرم فسفر P ($mg.Kg^{-1}$)	میلی‌گرم به کیلوگرم نیتروژن N ($mg.Kg^{-1}$)
خاک Soil	Silt-loam	7.68	1.57	0.45	24	46	530
کود دامی Manure	-	-	5.6	20	410	7180	11400

پس از تکمیل اولین برگ حقیقی، نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی شامل ماده خشک تجمعی[۱] (TDM)، سطح برگ[۲] (LAI)، سرعت رشد محصول[۳] (CGR)، سرعت رشد نسبی[۴] (RGR) و سرعت جذب خالص[۵] (NAR) هر هفت روز یک‌بار به روش تخریبی و با درنظرگرفتن اثر حاشیه‌ای از پنج بوته لوبیا انجام گرفت. اندازه‌گیری سطح برگ بوته‌ها به کمک دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter, Delta T, UK) انجام شد. وزن خشک با قراردادن اندام هوایی نمونه‌های گیاهی در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین با ترازوی دیجیتال به دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین شد. در پایان فصل رشد، عملکرد دانه نیز از سطحی معادل پنج مترمربع محاسبه شد. طول مخصوص ریشه[۶] (SRL) در هر نمونه نیز در موقع برداشت، پس از شستشوی ریشه ها، با استفاده از روش تنانت اصلاح شده[۷] تعیین شد (Jahan & Nassiri Mahallati, 2012).

برای محاسبه شاخص‌های رشدی بر اساس میانگین طول مدت زمان (t2–t1)، از معادلات متوسط زیر (معادلات ۱ تا۴) استفاده شد (Sarmadnia & Koocheki, 1989).

معادله (۱)

$$LAI= (1/GA)[(LA2+LA1)/2]$$

معادله (۲)

$$CGR= (1/GA)[(W2–W1)/(t2–t1)]$$

معادله (۳)

$$RGR= (\ln W2–\ln W1)/(t2–t1)$$

معادله (۴)

$$NAR=[(W2–W1)/(t2–t1)][(\ln LA2–\ln LA1)/(LA2–LA1)]$$

که در معادلات فوق W: وزن خشک اندام هوایی (گرم)، t: زمان (روز)، LA: سطح برگ (مترمربع) و GA: سطح زمین (مترمربع) می‌باشند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش و رسم نمودارها و شکل‌ها از نرم‌افزارهای Slide Write Ver.2 و Microsoft Excel 2010 استفاده شد. در پایان، مقایسه میانگین‌ها به‌کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجمع ماده خشک (TDM)

روند تغییرات تجمع ماده خشک لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر عامل‌های کودی مختلف در شکل ۱-A نشان داده شده است. به‌طورکلی، تجمع ماده خشک در طول فصل رشد در اغلب گیاهان‌زراعی روندی سیگموئیدی دارد. بدین صورت که در ابتدای رشد سرعت تجمع ماده خشک کم و تدریجی است و با گذشت زمان و افزایش شاخ و برگ میزان فتوسنتز افزایش پیدا کرده و شیب تجمع ماده خشک، افزایش می‌یابد. سپس در نقطه‌ای از منحنی به حداکثر خود می‌رسد و بعد از آن به‌دلیل افزایش سن و پیری برگ‌ها از مقدار ماده خشک کاسته شده و در نهایت متوقف می‌شود (Sarmadnia & Koocheki, 1989).

با گذشت زمان و پیشرفت روزهای پس از کاشت، میزان ماده خشک تولیدی لوبیا در اثر عامل‌های مختلف افزایش یافت. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بیشترین تجمع ماده خشک در طول فصل رشد به میزان ۳۷۰ گرم در مترمربع در عامل کود بیولوژیک نیتروکسین مشاهده شد که به طور معنی‌داری (جدول ۲) بالاتر از سایر تیمارهای کودی و شاهد قرار گرفت (جدول ۳). همچنین زمان رسیدن به بیشترین تجمع ماده خشک طول فصل رشد در لوبیا برای عامل کود بیولوژیک نیتروکسین و بیوفسفر سریع‌تر از سایر عامل‌ها رخ داد (شکل ۱-A).

روند تغییرات تجمع ماده خشک لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر عامل‌های آبیاری مختلف در شکل ۱-B نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین تجمع ماده‌خشک مربوط به عامل ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان ۴۵۰گرم بر مترمربع بود که به طور معنی‌داری ($P\leq0.01$) بالاتر از سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی (به‌ترتیب با ۴۱۵ و ۲۰۹ گرم ماده خشک در مترمربع) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه دو شکل مربوط به تجمع ماده خشک در طول فصل رشد (شکل های ۱-A و ۱-B) بیانگر آن است بخش عمده افزایش در ماده خشک در فاصله بین روزهای ۲۱ تا ۹۰ روز پس‌از کاشت، یعنی هنگامی‌که گیاه در مرحلۀ رشد خطی قرار داشت، حاصل‌شد. به‌نظر می‌رسد که در این زمان گیاه لوبیا توانسته با گسترش ریشه‌های خود به حداکثر توانایی برای

۱- Total dry matter

۲- Leaf area index

۳- Crop growth rate

۴- Relative growth rate

۵- Net assimilation rate

۶- Specific root length

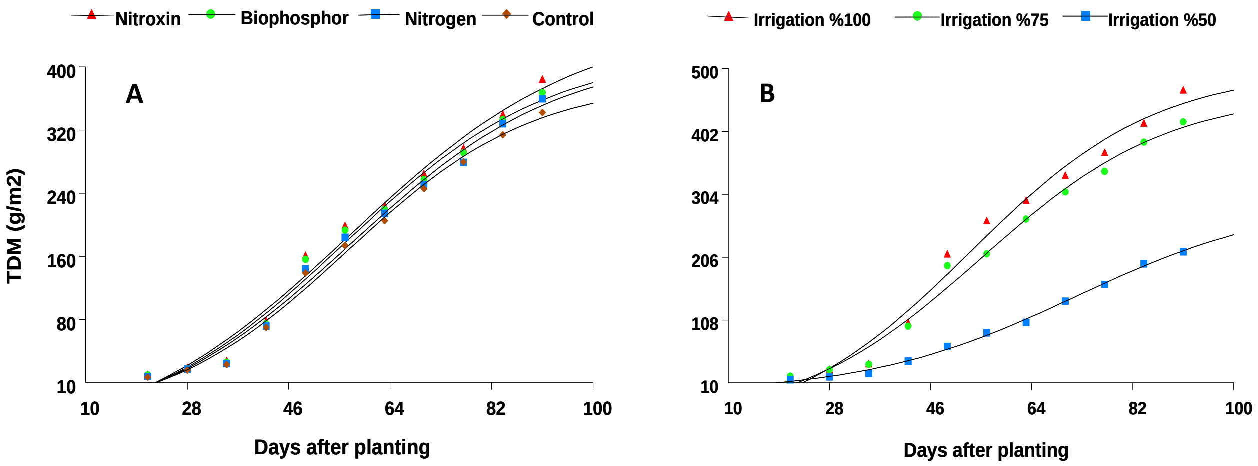
۷- Tennant modified method

جذب آب و مواد غذایی برسد و از این طریق توان فتوسنتزی گیاه افزایش پیدا کرده است. به‌تدریج و با ازدست‌رفتن توانایی ریشه در جذب‌آب و املاح به‌خصوص کاهش جذب نیتروژن و به‌دنبال آن، ازدست‌رفتن سطح برگ (شکل ۲)، تجمع ماده خشک در گیاه کاهش یافت (شکل ۱).

به‌نظر می‌رسد که در گیاهان تحت تنش رطوبتی، به‌دلیل کاهش سطح برگ و بسته‌شدن روزنه‌ها و متعاقباً کاهش سرعت فتوسنتز، راندمان انتقال مواد به دانه و تجمع ماده خشک کاهش می‌یابد که این موضوع با یافته‌های سایر محققان مطابقت دارد (Jami-Alahmadi, 1998; Maleki, 1999). کودهای‌بیولوژیک توانایی تبدیل عناصر غذایی پرمصرف را از شکل غیرقابل‌دسترس به‌شکل قابل‌دسترس طی فرایندهای بیولوژیکی داشته و منجر به‌توسعۀ سیستم ریشه‌ای و جوانه‌زنی بهتر بذور می‌گردند (Rajendran & Devaraj, 2004).

شاخص سطح برگ (LAI)

روند تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر عامل‌های کودی مختلف در شکل ۲- A نشان داده شده است و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در همه عامل‌های مورد آزمایش با گرم‌شدن هوا دورۀ گسترش سریع برگ از حدود ۵۰ روز پس‌از کشت آغاز شد و با روند افزایشی ادامه یافت و به‌حداکثر رسید.



شکل ۱- روند تغییرات ماده خشک لوبیا در طول فصل رشد در شرایط: (A) عامل‌های کودی و (B) آبیاری‌های مختلف

Fig. 1. TDM changes of bean during the growing season in: (A) fertilizers factor, and (B) different irrigation

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری‌شده در لوبیا تحت تأثیر انواع کود و سطوح آبیاری

Table 2. Analysis of variance (MS) characteristics examined of bean affected fertilizers type and irrigation levels

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (Df)	میانگین مربعات Mean of squares						
		حداکثر ماده خشک تجمعی (TDM max)	حداکثر شاخص سطح برگ (LAI max)	حداکثر سرعت رشد محصول (CGR max)	حداکثر سرعت رشد نسبی (RGR max)	حداکثر سرعت جذب خالص (NAR max)	عملکرد دانه (Seed yield)	طول مخصوص ریشه (Specific root length)
تکرار (Replication)	2	347.59 ^{ns}	0.031^{ns}	38.92^{ns}	0.001^{ns}	4.11^{ns}	1.69^{ns}	1.89^{ns}
آبیاری (Irrigation)	2	222240.59**	2.076**	40.65*	0.004*	12.11^{ns}	193.93**	1023.33**
خطای اول (Ea)	4	843.02	0.024	5.19	0.000	1.28	1.18	4.76
کود (Fertilizer)	3	2805.34**	0.030**	10.24*	0.002**	94.86*	12.21*	12.53**
آبیاری*کود (I*F)	6	322.42^{ns}	0.002^{ns}	0.002^{ns}	0.000^{ns}	0.000^{ns}	2.68^{ns}	2.87*
خطای دوم (Eb)	18	156.38	0.001	0.01	0.000	2.15	0.95	1.63
ضریب تغییرات (CV) (%)		5.44	4.75	6.16	2.79	0.56	8.74	10.56

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, *, **: Non significant and significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively

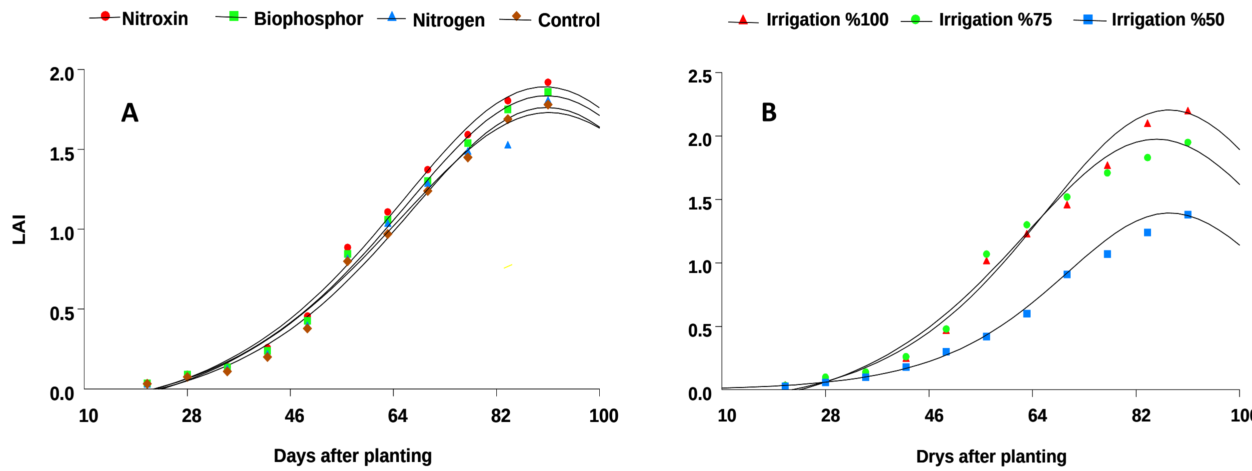
جدول ۳- مقایسه میانگین حداکثر شاخص‌های رشدی گیاه لوبیا تحت تأثیر انواع کود و سطوح آبیاری

Table 3. Mean comparison on maximum values of growth indices of bean affected fertilizers type and irrigation levels

تیمارها (Treatments)	حداکثر ماده خشک تجمعی TDM max (g/m²)	حداکثر شاخص سطح برگ LAI max (m²/ m²)	حداکثر سرعت رشد محصول CGR max (g/m²/day)	حداکثر سرعت رشد نسبی RGR max (g/g/day)	حداکثر سرعت جذب خالص NAR max (g/m²/day)	عملکرد دانه Seed yield (kg/ha)
آبیاری Irrigation						
100%	450.93 a	2.31 a	11.29 a	0.222 a	32.55 a	3073.7 a
75%	415.52 b	1.95 b	10.72 a	0.212 a	33.49 a	2238.2 b
50%	209.09 c	1.39 c	4.51 b	0.183 b	32.50 a	978.9 c
کود Fertilizer						
Nitroxin	370.74 a	2.01 a	11.04 a	0.229 a	35.51 a	2685.4 a
Biophosphor	357.53 b	1.86 b	10.65 ab	0.217 ab	32.69 b	2151.6 ab
Nitrogen	356.54 b	1.82 c	9.29 ab	0.207 ab	29.42 c	1754.9 bc
Control	342.24 c	1.73 c	8.81 b	0.196 b	28.37 c	1396.0 c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Similar letters in each column show non-significant differences according to Duncan’ Test at 5% level of probability.



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا در طول فصل‌رشد در شرایط: (A) عامل‌های کودی و (B) آبیاری‌های مختلف

Fig. 2. LAI changes of bean during the growing season in: (A) fertilizers factor, and (B) different irrigation

بعد از این مرحله با افزایش سایه‌اندازی و کاهش نفوذ نـور به داخل تاج پوشش، به‌دلیل زردشدن و ریزش بـرگ‌هـای تـاج پوشش، روند نزولی در منحنـی شـاخص سـطح بـرگ مشـاهده گردید. حداکثر شاخص سطح برگ در عامل‌های کودی، ۹۰ روز پس از کاشـت ایجـاد شـد (شـکل A-۲) و تفـاوت معنـی‌داری (P≤0.01) را در مقایسه با شاهد نشان داد (جدول ۲)

بیشترین شاخص سطح برگ در طول فصل رشد به‌میـزان ۲/۰ در اثر عامل کـود بیولوژیـک نیتروکسـین مشـاهده شـد و گیاهان شاهد کمترین شـاخص سـطح بـرگ (۱/۷) را داشـتند (جدول ۳). این موضوع بیانگر آن است که لوبیـا توانسـته بـین روزهای ۲۰ تا ۹۰ روز پس از کاشت به‌سرعت سطح سـبز خـود را افزایش دهد و بـه حـداکثر مقـدار آن بـرای جـذب تشعشـع برساند (شکل ۲-الف). یکی از دلایـل رسـیدن بـه سـطح سـبز حداکثر در این دامنهٔ زمانی می‌تواند مربوط به گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه لوبیا باشد و این که این گیاه توانسته بـا گسـترش سیستم ریشه‌ای خود تـا ایـن زمـان بـه‌حـداکثر توانـایی بـرای

جذب‌آب و مواد غذایی برسد. علت دیگر می‌تواند مطابقت این زمان با حداکثر تشعشع دریافتی و دمای مناسب برای رشد باشد. پس از رسیدن سطح برگ به‌مقدار حداکثر، گیاه لوبیا سطح سبز خود را به‌دلیل خشبی‌شدن ساقه‌های‌سبز، خشک شدن برگ‌ها و همچنین ریزش برگ‌ها به سرعت از دست داد (شکل ۲-A). محققان (Jahan *et al.*, 2011) گزارش کردند که بیشترین مقادیر شاخص سطح برگ کنجد (*Sesamum indicum* L.) در هر دو حالت کشت و عدم کشت گیاهان پوششی، در نتیجهٔ استفاده از کودهای زیستی حاصل شد. همچنین کودهای زیستی نسبت به شاهد در هر دو حالت کشت و عدم کشت گیاهان پوششی، زمان رسیدن به‌حداکثر شاخص سطح برگ را تسریع کردند.

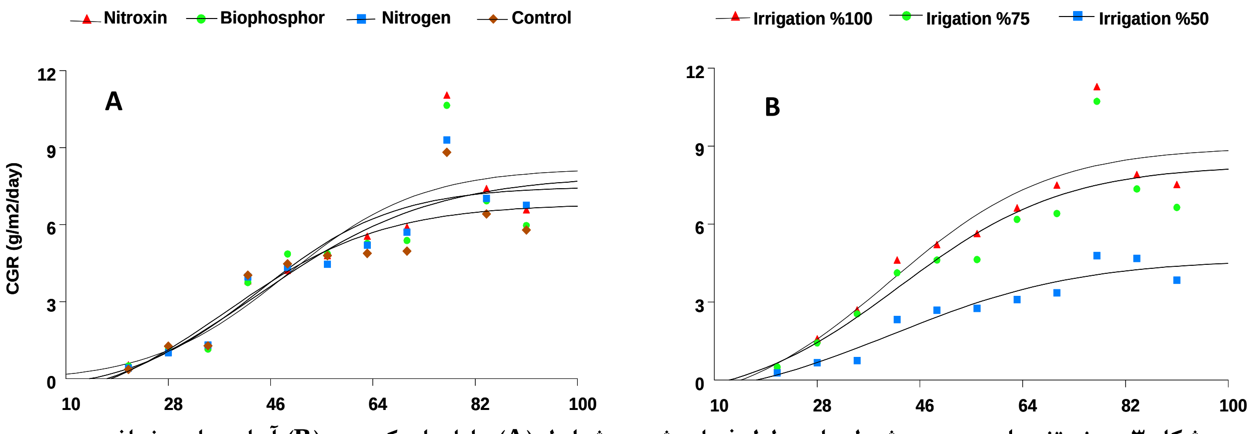
روند تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر آبیاری، در شکل ۲-B نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی لوبیا به میزان ۲/۳ بود که به طور معنی‌داری بالاتر از ۷۵ درصد نیاز آبی (۱/۹) و ۵۰درصد نیاز آبی (۱/۴) قرار گرفت (جدول ۳). در مطالعه روی گیاه عدس (*Lens culinaris*) مشخص شد که با کمبود آب، سطح برگ به شدت کاهش یافت. تولید و توسعهٔ برگ به کمبود آب بسیار حساس می‌باشد و علت آن، نیاز مبرم فرایندهای تقسیم سلولی و رشد به فشار تورژسانس سلولی است که آب، نیروی محرکه آن است (Pagter *et al.*, 2005).

Kropff & Van Laar (1995) نیز بیان کردند که پس‌از سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر (زمانی‌که شاخص سطح برگ به بیش‌از ۰/۷ تا ۱ افزایش یافته باشد)، گسترش روزانه سطح برگ به‌مقدار ماده خشک اختصاص‌یافته به برگ‌ها بستگی خواهد داشت. همچنین مرحلهٔ اصلی پیرشدن برگ‌ها، با شروع پرشدن دانه‌ها آغاز می‌شود.

سرعت رشد محصول (CGR)

سرعت رشد محصول شاخصی است که میزان تجمع ماده خشک را در واحد زمان و سطح زمین نشان می‌دهد. روند تغییرات سرعت رشد لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر عامل‌های کودی مختلف در شکل۳-A نشان داده شده است. مشاهده شد که در عامل کود بیولوژیک نیتروکسین، سرعت رشد بیشتر از بقیه عامل‌ها بود و در فاصلهٔ بین روزهای ۲۱ تا ۸۴ روز پس از کاشت به سرعت افزایش یافت و سپس به‌حداکثر مقدار خود رسید. سرعت رشد محصول در اثر کاربرد ۱۰۰ درصد نیاز آبی به طور معنی‌داری بالاتر از ۵۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۳).

کاهش CGR را می‌توان به کاهش فتوسنتز خالص و مادهٔ خشک در اثر ریزش برگ‌ها در گیاه لوبیا نسبت داد. کمترین میزان CGR مربوط به سطح ۵۰ درصد نیاز آبی و شاهد بود و بیشترین مقدار آن در دو سطح ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی و دو نوع کود بیولوژیک نیتروکسین و بیوفسفر حاصل شد که تقریباً سرعت رشد برابری داشتند (شکل ۳).



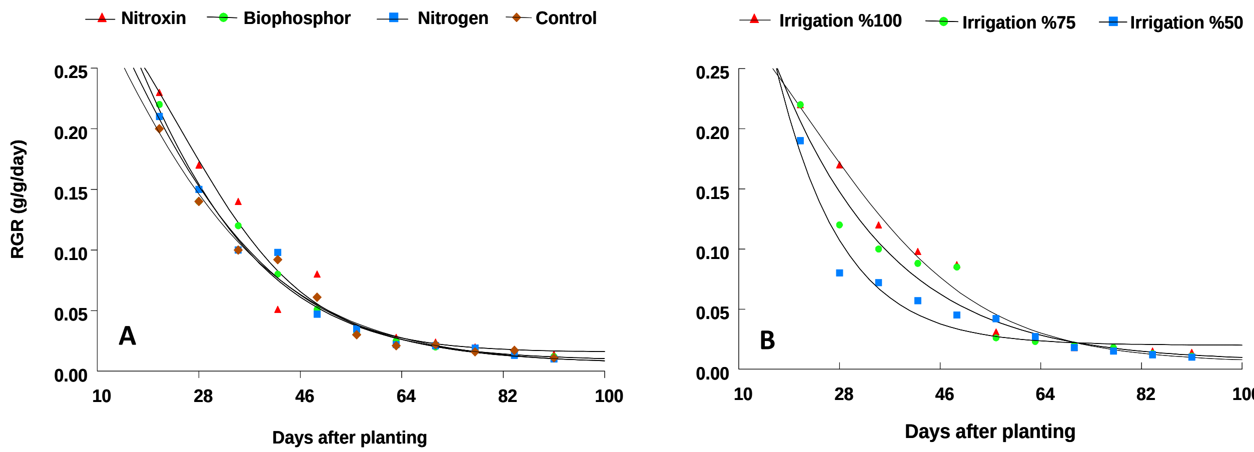
شکل ۳- روند تغییرات سرعت رشد لوبیا در طول فصل رشد در شرایط: (A) عامل‌های کودی و (B) آبیاری‌های مختلف

Fig. 3. CGR changes of bean during the growing season in: (A) fertilizers factor, and (B) different irrigation

باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شامل ازتوباکتر (*Azotobacter* sp.) با تثبیت نیتروژن هوا و آزوسپریلوم (*Azospirillum* sp.) با متعادل‌کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی مورد نیاز گیاه، همچنین با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های‌گیاهی مانند اکسین، انواع آنتی‌بیوتیک‌ها، سیانید هیدروژن و سیدروفور، موجب رشد و توسعۀ ریشه و قسمت‌های هوایی گیاهان می شوند (Tilak *et al.*, 2005). گزارش (Prasad *et al.*, 1978) حاکی از آن است که در شرایط تنش خشکی و با کاهش پتانسیل آبی گیاه، سرعت رشد گیاه به‌دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز، کاهش می‌یابد.

سرعت رشد نسبی (RGR)

روند تغییرات سرعت رشد نسبی لوبیا در طول فصل رشد تحت تأثیر عامل‌های کودی مختلف و سطوح آبیاری در شکل های ۴-A و ۴-B نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در اوایل فصل رشد بیشترین سرعت رشد نسبی لوبیا در کود بیولوژیک نیتروکسین (۱۱ گرم بر گرم در روز) و کمترین آن در عامل‌شاهد (۸/۸ گرم بر گرم در روز) بود و با افزایش روزهای پس‌از کاشت، روند نزولی داشت (شکل ۴-A). سایر عامل‌های کودی بدون اختلاف معنی‌دار با نیتروکسین در رتبه بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). تیمارهای کاربرد ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی نیز بدون اختلاف آماری شاخص سرعت رشد نسبی لوبیا را به شکل معنی‌داری بالاتر از تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی قرار دادند (جدول ۳).



شکل ۴- روند تغییرات سرعت رشد نسبی لوبیا در طول فصل رشد در شرایط: (A) عامل‌های کودی و (B) آبیاری‌های مختلف

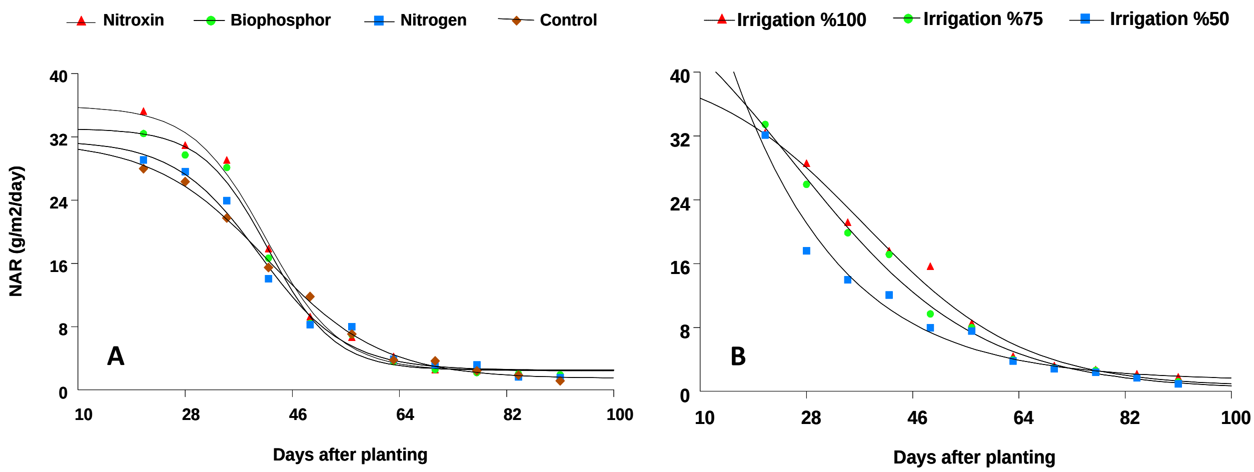
Fig. 4. RGR changes of bean during the growing season in: (A) fertilizers factor, and (B) different irrigation

دلیل کاهش RGR در طول دوره رشد به افزایش سن برگ‌های پایین‌تر، درسایه‌قرارگرفتن آن‌ها و همچنین افزایش بافت‌های ساختمانی که در فتوسنتز نقشی ندارند، نسبت داده شده است (Sarmadnia & Koocheki, 1989). علت کاهش RGR این است که هرچند مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند، اما سرعت افزایش به‌دلیل افزایش نسبت بافت‌های بالغ به بافت‌های مریستمی کاهش می‌یابد. از طرفی بخشی از این کاهش می‌تواند مربوط به سایه‌قرارگرفتن و یا افزایش سن برگ‌های پایین گیاه باشد که باعث کاهش فتوسنتز می‌گردد (Sarmadnia & Koocheki, 1989).

سرعت رشد نسبی باگذشت زمان کاهش می‌یابد که علت آن افزایش شاخص سطح برگ و به‌طور کلی افزایش تعداد برگ‌هایی است که منجر به سایه‌اندازی بر روی برگ‌های قبلی می‌شوند. با افزایش سن برگ‌های پایین‌تر گیاه، فتوسنتز برگ‌ها کاهش می‌یابد. این کاهش به این صورت قابل توجیه است که با افزایش سن گیاه به‌مقدار بافت‌های ساختمانی که توانایی رشد و تولید ندارند، افزوده می‌شود و نسبت مادۀ خشک تولیدی در واحد زمان به‌ازای وزن گیاه درطول آن زمان کاهش می‌یابد (Koocheki & Nassiri Mahallati, 1992).

سرعت جذب خالص (NAR)

روند تغییرات سرعت جذب خالص لوبیا در طول فصل رشد در شکل‌های ۵-A و ۵-B نشان‌داده شده است. تغییرات سرعت جذب خالص (NAR) در طول فصل‌رشد، مشابه سرعت رشد نسبی (RGR)، روند نزولی داشت (شکل ۴). در اوایل فصل رشد، عامل‌های کود بیولوژیک نیتروکسین و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین سرعت جذب خالص را داشتند و در انتهای فصل رشد این اختلافات کاهش نشان داد (شکل ۵). آنالیز داده های حداکثر سرعت جذب خالص لوبیا نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سطوح عامل‌های کودی وجود داشت (جدول ۲)، به طوری که بیشترین این صفت در تیمار کود نیتروکسین (۳۵/۵ گرم بر مترمربع در روز) و کمترین آن در تیمار شاهد (۲۸/۴ گرم بر مترمربع در روز) ملاحظه شد. تیمار کودی بیوفسفر در جایگاه دوم پس از نیتروکسین قرار گرفت و کود اوره هم بدون تفاوت آماری با شاهد جایگاه سوم را به خود اختصاص داد (جدول ۳).



شکل ۵- روند تغییرات سرعت جذب خالص لوبیا در طول فصل رشد در شرایط: (A) عامل‌های‌کودی و (B) آبیاری‌های مختلف

Fig. 5. NAR changes of bean during the growing season in: (A) fertilizers factor, and (B) different irrigation

سرعت جذب خالص، تخمینی از میانگین شدت فتوسنتزی برگ‌ها در یک جامعۀ گیاهی است و زمانی به حداکثر خود می‌رسد که تمام برگ‌ها در معرض نور خورشید باشند و این شرایط زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه در مراحل اولیۀ رشد خود بوده و برگ‌ها به اندازه‌ای هستند که هیچ‌کدام در سایه قرار ندارند (Sarmadnia & Koocheki, 1989). همچنین با افزایش سن برگ، سرعت فتوسنتز خالص کاهش یافته که این امر نیز افزایش شیب نزولی سرعت جذب خالص را به دنبال داشته است.

عملکرد دانه

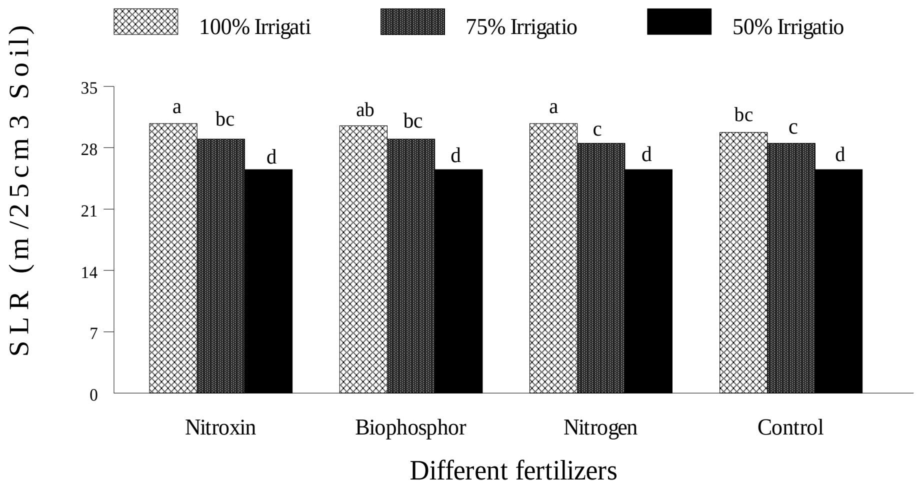
عامل کودی اثر معنی‌داری (P≤0.05) بر عملکرد لوبیا داشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه در اثر کود زیستی نیتروکسین با میانگین ۲۶۸۵/۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و پس از آن کود زیستی بیوفسفر، کود شیمیایی نیتروژنه و شاهد به‌ترتیب با ۲۱۵۱/۶، ۱۷۵۴/۹ و ۱۳۹۶/۰ کیلوگرم در هکتار قرار گرفتند (جدول ۳). عملکرد دانه در نتیجه تلقیح با نیتروکسین به‌ترتیب ۲۵، ۲۱ و ۳۱ درصد بیشتر از عملکرد دانه در نتیجه کاربرد بیوفسفر، کود شیمیایی نیتروژنه و شاهد بود (جدول ۳). در پژوهشی (Jahan *et al.*, 2011) گزارش شد که کودهای زیستی نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور به‌ترتیب باعث افزایش ۲۶، ۲۲ و ۲۰ درصدی عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum*) نسبت به شاهد شدند.

اثر سطوح آبیاری نیز بر عملکرد دانه لوبیا معنی‌دار (P≤0.01) بود (جدول ۲)، به‌طوری‌که با کاهش تأمین نیاز آبی لوبیا از ۱۰۰ به ۵۰ درصد، میانگین عملکرد دانه از ۳۰۷۳/۷ به ۹۷۸/۹ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (جدول ۳). در این ارتباط پژوهشگران (Asadi, *et al.*, 2013) با بررسی

شاخص‌های تحمل به خشکی در لوبیا چیتی نشان دادند که بیشترین تأثیر خشکی بر تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه بود.

طول مخصوص ریشه (SRL)

به‌مقدار طول ریشه موجود در حجم مشخصی از خاک، طول مخصوص ریشه گفته می‌شود. کودهای مختلف اثر معنی‌داری بر طول مخصوص ریشه لوبیا داشتند (جدول ۲). عموماً ریزوباکتری‌های تحریک‌کنندهٔ رشد گیاه سبب افزایش این ویژگی می‌شوند (Jahan & Nassiri Mahallati, 2012). اثر آبیاری نیز بر طول مخصوص ریشه لوبیا معنی‌دار ($P\leq0.01$) شد.



شکل ۶- اثر متقابل کودهای مختلف و آبیاری برطول مخصوص ریشه لوبیا

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Fig. 6. Interaction effect of different fertilizers and irrigation on SRL of bean

The means followed by similar letter at least, are not significantly different.

اثر متقابل کود و آبیاری بر طول مخصوص ریشه لوبیا معنی‌دار ($P\leq0.05$) بود (جدول ۲)، به طوری‌که بیشترین طول مخصوص (۳۰/۱۵ متر در ۲۵ سانتی‌متر مکعب خاک) در نتیجهٔ کود بیولوژیک نیتروکسین و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد، اگر چه با کود بیولوژیک بیوفسفر و ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۶). همچنین، طول مخصوص ریشه در نتیجهٔ تلقیح با نیتروکسین و ۷۵ درصد نیاز آبی و نیز بیوفسفر و ۷۵ درصد نیاز آبی با طول مخصوص ریشه حاصل از کود شیمیایی نیتروژن و ۷۵ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌دار نداشت. پس می‌توان با مصرف ۲۵ درصد آب کمتر و کود بیولوژیک، همان مقدار در طول مخصوص ریشه مؤثر بود که در نتیجه کود شیمیایی به‌دست می‌آید (شکل ۶).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش، حاکی از اثر مثبت کودهای بیولوژیک نیتروکسین و بیوفسفر بر شاخص‌های رشدی ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص گیاه لوبیا و همچنین عملکرد دانه بود. احتمالاً این باکتری‌ها در منطقه ریزوفسفر از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر تثبیت نیتروژن، تبدیل فسفات معدنی به آلی، افزایش جذب‌آب و مواد غذایی، علاوه بر تأمین عناصر غذایی برای رشد، با تأثیر بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (از قبیل بافت، وزن‌مخصوص، ساختمان خاک و غیره) باعث بهبود آنالیزهای رشدی لوبیا در مقایسه با شاهد شده‌اند. عملکرد محصول و حداکثر شاخص‌های رشدی مقدار ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص لوبیا در کاربرد کود بیولوژیک نیتروکسین نسبت به کود شیمیایی و شاهد، برتری معنی‌داری داشت. بنابراین، استفاده از کودهای بیولوژیک به‌ویژه نیتروکسین جایگزین مناسب‌تر کود شیمیایی نیتروژنه در تولید محصول سالم لوبیا می‌باشد.

منابع

1. Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H.R., Hosseinpoor, R., Abdeshah, H., Kazemian, A., and Rafiei, M. 2017. Agricultural Statistics during 2016-7. Ministry of Jihade Keshavarzi, Iran. Vol. 1: Crops. Retrieved Sep. 19, 2018, from http://amar.maj.ir.
2. Arun, K.S. 2002. A Handbook of Organic Farming Publication. Agrobios, India.
3. Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6(9): 2026-2032.
4. Demirevska, K., Zasheva, D., Dimitrov, R., Simova-Stoilova, L., Stamenova, M., and Feller, U. 2009. Drought stress effects on Rubisco in wheat changes in the Rubisco large subunit. Acta Physiologiae Plant 31: 1129-1138.
5. Fatma, A.G., Lobna, A.M., and Osman, N.M. 2008. Effect of compost and biofertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*). Plant International Journal of Agriculture and Biology 10(4): 381-387.
6. Griffe, P., Metha, S., and Shankar, D. 2003. Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye-Yielding Plants (MADPs): Forward, Preface and Introduction, FAO.
7. Heidari, M., and Jahan-Tighi, H. 2014. Evaluate effect of water stress and different amounts of nitrogen fertilizer on seed quality of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11(4): 640-647. (In Persian with English Summary).
8. Jahan, M., Amiri, M.B., and Ehyaei, H.R. 2011. Interaction of cover plants (chickling pea and Iranian clover) and biofertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) in ecological farming system with emphasis on minimum tillage. 1st Special Conference about Opportunity Methods for Sustainable Agriculture. Khouzestan Payam Nour University. (In Persian with English Summary).
9. Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Soil Fertility and Biological Fertilizers (Agro-Ecological Approach). Ferdowsi University of Mashhad Press. 252 p. (In Persian).
10. Jami Alahmadi, M. 1998. Effect of sowing date and time to stop irrigation on growth, yield and qualitative characteristics in cotton, Varamin cultivar. Master Thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary).
11. Kafi, M., and Rostami, M. 2007. Effects of drought stress on yield and yield components of three sofflower cultivars in conditions of irrigation with salt water. Iranian Journal of Field Crops Research 5(1): 121-131. (In Persian with English Summary).
12. Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 1992. Crop Ecology. Vol. 1. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press, 291 p. (In Persian).
13. Kropff, M.J., and Van Laar., H.H. 1995. Modelling Crop-Weed Interactions. CAB International, Wallingford and International Rice Research Institute, Manila.
14. Kumar, B., Pandey, P., and Maheshwari, D.K. 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. European Journal of Soil Biology 45: 334-340.
15. Kumar, S., Verma, A.K., Das, M., Jain, S.K., and Dwivedi, P.D. 2013. Clinical complications of kidney bean (*Phseolus vulgaris* L.) consumption. Nutrition 29: 821-827.
16. Maleki, A. 1999. Effect of irrigation intervals and nitrogen splitting on yield and yield components of spring rapeseed. Master Thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary).
17. Masoumi, A., Kafi, M., and Khazaei, H.R. 2008. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) germination responses to water stress induced by poly ethylene glycol 6000. Iranian Journal of Field Crops Research 6(2): 453-462. (In Persian with English Summary).
18. Mulas, D., Garcia-Fraile, P., Carro, L., Ramirez-Bahena, M.H., Casquero, P., Velazquez, E., and Gonzalez-Andres, F. 2011. Distribution and efficiency of *Rhizobium leguminosarum* strains nodulating *Phaseolus vulgaris* in Northern Spanish soils: Selection of native strains that replace conventional N fertilization. Soil Biology and Biochemistry 43: 2283-2293.
19. Pagter, M., Bragato, C., and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological responses of phragmites Australia to water deficit. Aquatic Botany 81: 285-299.

20. Poudel, D.D., Hoawath, W.R., Lanini, W.T., Temple, S.R., and Van Bruggen, A.H.C. 2002. Comparison of soil N availability and conventional farming systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems and Environmental 90: 125-137.
21. Prasad., V.V., Pandey, S.R.K., and Saxena, M.C. 1978. Physiological analysis of yield variation in gram (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Indian Journal of Plant Physiology 21: 228-234.
22. Rabieyan, Z., Rahimzadeh Khoei, F., Kazemi Arbat, H., and Yarnia, M. 2009. Effect of biofertilizers on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cv. Pirouz under different levels irrigation. Iranian Journal of Agricultural Research 2(6): 93-96. (In Persian with English Summary).
23. Rajendran, K., and Devaraj, P. 2004. Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farm land. Biomass and Bioenergy 26: 235-249.
24. Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodriguez-Valentin, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., and Covarrubias, A.A. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. Plant Physiology and Biochemical 56: 24-34.
25. Sarmadnia, Gh.H., and Koocheki, A. 1989. Crop Physiology. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press, 400 p. (In Persian).
26. Tahami Zarandi, M.K., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M. 2016. Comparison the effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil percentage of Basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Agroecology 2(1): 63-74. (In Persian with English Summary).
27. Tilak, K.V., Ranganayaki, B.R., Pal, N., De, K.K., Saxena, R., ShekharNautiyal, A.K., Mittal, C., Tripathi, S., and Johri, B.N. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science 89: 136-150.
28. Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil 255: 571-586.
29. Wani, I.A., Sogi, D.S., Wani, A.A., and Gill, B.S. 2013. Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. LWT-Food Science and Technology, 53: 284-27.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 12, No. 2, December 2021, p. 151-164 (Original Research Article)

The effects of growth promoting rhizobacteria and nitrogen fertilizer on growth indices of bean (*Phaseolus vulg*aris L.) under water shortage stress conditions

Tabatabaei[1], Seyede Samira; Jahan[2], Mohsen; and Hajmohammadnia Ghalibaf [3*], Kamal

1. Graduated MSc., Depatrment of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi Mashhad; parvazi@live.com
2. Professor, Depatrment of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi Mashhad; jahan@um.ac.ir
3. Assistant Professor, Depatrment of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi Mashhad

Received: 30 December 2018; **Revised:** 27 November 2018
Accepted: 9 May 2021; **Available Online:** 22 December 2021

DOI: 10.22067/ijpr.v12i2.75037

How to cite this article:
Tabatabaei, S.S., Jahan, M., and Hajmohammadnia Ghalibaf, K. 2021. The effects of growth promoting rhizobacteria and nitrogen fertilizer on growth indices of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water shortage stress conditions. Iranian Journal of Pulses Research 12(2): 151-164.

Introduction

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the world's most important food legume crop. This staple considered as a nearly perfect food mainly because of its high protein content (about 25 percent) and abundant fiber, complex carbohydrates (about 60 percent), and other daily food needs such as vitamins (folate) and minerals (Cu, Ca, Fe, Mg, Mn, and Zn). Water use in agricultural production as one of the most important environmental factors affecting plant growth and development, especially in arid and semi-arid climatic conditions of Iran.

Materials and Methods

In order to study the effect of plant growth promoting Rhizobacteria and nitrogen chemical fertilizer on some characteristics of root and growth indices of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water stress conditions, a split-plot design based on RCBD with three replications was conducted during growing season of 2015-16 at Agricultural Research station, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Three levels of irrigation (100%, 75%, 50% water requirement) assigned to main plots and different types of biofertilizers (Nitroxin®, containing *Azotobacter* sp. and *Azospirillum* sp., Biophosphor®. containing Phosphate-solubilizing bacteria *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp.), Nitrogen fertilizer) urea form, and Control (no fertilizer) were assigned to sub plots. Destructive sampling was performed to calculate the growth indices (such as TDW (total dry weight), LAI (leaf area index), CGR (crop growth rate), RGR (relative growth rate) and NAR (net assimilation rate)) randomly from competing plants regarding the marginal effects from 1 real completed leaf stage to the end of the growing season from 5 m^2 surface (every 7 days; 12 steps). The growth indices of LAI, CGR, RGR and NAR were calculated using equations (1-4). At the end of the growing season SRL (specific root length) was determined by Tenant Modified Method. Leaf area calculated by Leaf Area Meter device (Delta T, UK). Data analysis of variance and figures preparation were done by Minitab Ver. 16, Slide Write Ver. 2, and Excel 2010 softwares. At the end, Means comparing did by Duncan's test at probability 5%.

*** Corresponding Author:** hajmohamadnia@um.ac.ir

Equation 1:
LAI= (1/GA)[(LA2+LA1)/2]
Equation 2:
CGR= (1/GA)[(W2–W1)/(t2–t1)]
Equation 3:
RGR= (lnW2–lnW1)/(t2–t1)
Equation 4:
NAR= [(W2–W1)/(t2–t1)] [(lnLA2–lnLA1)/(LA2–LA1)]

where GA is ground area (m^2), LA is leaf area (m^2), W is shoot dry weigh (g) and t is time (day).

Results and Discussion

According to the result, the effect of biological fertilizers especially Nitroxin significantly increased maximum values of bean`s growth indices included total dry matter (TDM max), leaf area index (LAI max), crop growth rate (CGR max), relative growth rate (RGR max) and net assimilation rate (NAR max) compared to control and even nitrogen fertilizer. So that the highest and the lowest total dry matter (TDM max) at 91 days after planting were observed in Nitroxin (370 $g.m^{-2}$) and control (342 $g.m^{-2}$) traits ($p \leq 0.01$), respectively. The highest and the lowest leaf area index (LAI max) at 91 days after planting were observed in Nitroxin (2.0) and control (1.7) traits ($p \leq 0.01$), respectively. The highest and the lowest crop growth rate (CGR max) at 77 days after planting was observed in Nitroxin 11.04 $g.m^{-2}.day^{-1}$ and control 8.81 $g.m^{-2}.day^{-1}$ traits ($p \leq 0.05$), respectively. The highest and the lowest relative growth rate (RGR max) at 21 days after planting was observed in Nitroxin 0.23 $g.g^{-1}.day^{-1}$ and control 0.20 $g.g^{-1}.day^{-1}$ traits ($p \leq 0.01$), respectively, and then decreased gradually. Similar to RGR, the highest and the lowest net assimilation rate (NAR max) at 21 day after planting was observed in Nitroxin 35.5 $g.m^{-2}.day^{-1}$ and control 28.4 $g.m^{-2}.day^{-1}$ traits ($p \leq 0.05$), respectively. All attributes, showed highest values at 100% water requirement treatment. Also, the effect of fertilizers ($p \leq 0.05$) and water requirement ($p \leq 0.01$) were significant on grain yield. The main and interaction effects of fertilizer and irrigation were significant ($p \leq 0.05$) on specific root length (SRL). So that, the highest specific root length (30.15 $m.25cm^{-3}$ soil) were obtained from Nitroxin and 100% water requirement.

Conclusion

In total, the results showed that it could be possible to produce the healthy production of bean, moreover, attain the optimum yield as equal as to conventional systems.

Keywords: Biophosphor، Drought، Grains، Nitroxin، Specific root length